Vietnam Journal of Community Medicine, Vol 63, No 5 (2022) 161-168

SCREENING FOR PULMONARY TUBERCULOSIS USING CHEST X-RAY WITH COMPUTER-AIDED DETECTION SYSTEMS: A LITERATURE REVIEW

Dao Huy Cu[1,*], Le Thi Hoan[2], Cung Van Cong[1]

[1]*National Lung Hospital - 463 Hoang Hoa Tham, Vinh Phu, Ba Dinh, Hanoi, Vietnam*
[2]*Hanoi Medical University - No.1 Ton That Tung, Dong Da, Hanoi, Vietnam*

Received 02/06/2022
Revised 07/07/2022; Accepted 13/08/2022

ABSTRACT

Objective: To review the literature on pulmonary TB screening using automatic X-ray film reading systems.

Subjects and methods: 13 publications from 2 databases MEDLINE and Cochrance in the period from January 2010 to December 2021 were analyzed.

Results: Our study has shown that there are currently 12 automatic chest X-ray reading systems that have been applied in screening for pulmonary tuberculosis. The sensitivities of the systems ranged from 0.70 to 0.95 with specificities of 0.42 to 0.99, respectively. Of these, there are 3 systems that achieve the sensitivity and specificity recommended by WHO for a TB screening tool (sensitivity >=90% and specificity >=70%) namely: qXR, CAD4TB and INSIGHT CXR.

Conclusion: Our study has highlighted the overview and value of some AI software applications in reading chest X-ray automatically supporting the diagnosis of pulmonary tuberculosis.

Keywords: TB screening, Pulmonary tuberculosis, Chest X-ray, Computer-aided detection.

*Corressponding author
Email address: huycubn119@gmail.com
Phone number: (+84) 366 629 564
https://doi.org/10.52163/yhc.v63i5.440

SÀNG LỌC LAO PHỔI SỬ DỤNG CÁC HỆ THỐNG ĐỌC PHIM XQUANG TỰ ĐỘNG: MỘT NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN TÀI LIỆU

Đào Huy Cừ[1,*], Lê Thị Hoàn[2], Cung Văn Công[1]

[1]*Bệnh viện Phổi Trung ương - 463 Hoàng Hoa Thám, Vĩnh Phú, Ba Đình, Hà Nội, Việt Nam*
[2]*Đại học Y Hà Nội - Số 1 Tôn Thất Tùng, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam*

Ngày nhận bài: 02 tháng 06 năm 2022
Chỉnh sửa ngày: 07 tháng 07 năm 2022; Ngày duyệt đăng: 13 tháng 08 năm 2022

TÓM TẮT

Mục tiêu: Nghiên cứu tổng quan tài liệu về sàng lọc lao phổi sử dụng các hệ thống đọc phim Xquang tự động.

Đối tượng và phương pháp: 13 tài liệu từ 2 cơ sở dữ liệu là MEDLINE và Cochrance trong giai đoạn từ 01/2010 – 12/2021 được đưa vào phân tích.

Kết quả: Nghiên cứu đã cho thấy hiện có 12 hệ thống đọc phim Xquang tự động đã được ứng dụng trong sàng lọc bệnh lao phổi. Độ nhạy của các hệ thống dao động trong khoảng 0.70 – 0.95 với độ đặc hiệu tương ứng là 0,42 – 0,99. Trong số này có 3 hệ thống đạt mức độ nhạy và độ đặc hiệu theo khuyến cáo của TCYTTG cho một công cụ sàng lọc bệnh lao (độ nhạy >=90% và độ đặc hiệu >=70%) đó là: qXR, CAD4TB và INSIGHT CXR.

Kết luận: Nghiên cứu đã nêu bật bức tranh tổng quan và giá trị của một số phần mềm ứng dụng AI trong đọc phim Xquang ngực tự động hỗ trợ chẩn đoán lao phổi.

Từ khoá: Sàng lọc, lao phổi, hệ thống đọc phim Xquang tự động.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bệnh lao là bệnh truyền nhiễm gây tử vong hàng đầu trên thế giới. Năm 2019, Tổ chức Y tế Thế giới (TCYTTG) ước tính có 10 triệu người bệnh lao mới được phát hiện và 1,2 người chết do lao[1] – tương đương với 2 người chết do lao mỗi phút. Tuy nhiên, cũng theo ước tính của TCYTTG số người bệnh lao được báo cáo và điều trị trong năm 2019 là 7,1 triệu người chiếm 71% số người mới mắc bệnh[1]. Điều này cũng có nghĩa là còn 29% - 2,9 triệu người bệnh lao năm 2019 chưa được báo cáo và đưa vào điều trị, là nguồn lây tiềm tàng trong cộng đồng. Những tổn thương sớm ở phổi của người bệnh có thể được phát hiện sớm bằng việc sàng lọc hình ảnh Xquang ngực. Các điều tra dịch tễ bệnh lao toàn quốc là những chiến dịch sàng lọc lớn nhất thực hiện trong một thời gian ngắn. Kết quả từ các điều tra dịch tễ bệnh lao toàn quốc trên thế giới cho thấy phần nhiều người bệnh lao có bằng chứng vi khuẩn học không có triệu chứng của bệnh. Tỷ lệ này tại Việt Nam là 57%[2], tại

*Tác giả liên hệ
Email: huycubn119@gmail.com
Điện thoại: (+84) 366 629 564
https://doi.org/10.52163/yhc.v63i5.440

Tây Tạng là 51,3%[3], Châu Phi là 44%[4]. Các điều tra này cũng cho thấy hình ảnh Xquang có độ nhạy có thể lên đến 97,7%[2], độ nhạy cao hơn 3-5 lần với triệu chứng nghi lao[5]. Các bằng chứng trên là tiền đề để phát triển chiến lược sàng lọc chủ động bệnh lao sử dụng Xquang để khắc phục hạn chế trong chiến lược DOTS (xét nghiệm soi đờm trực tiếp với những người có triệu chứng nghi ngờ)[6].

Với sự phát triển của các hệ thống đọc phim Xquang ngực tự động, năm 2021 lần đầu tiên TCYTTG đưa các hệ thống đọc phim Xquang ngực tự động vào cấu phần báo cáo bệnh lao toàn cầu. Một số hệ thống đọc phim X quang ngực tự động hiện có trên thị trường có thể giúp phiên giải kết quả hình ảnh Xquang lao phổi với chất lượng đồng đều ở tất cả các tuyến từ Trung ương đến cơ sở, ở trong và ngoài Chương trình chống lao, ở các cùng miền, đặc biệt vùng sâu vùng xa, nơi mà hệ thống y tế còn rất hạn chế về nguồn nhân lực.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

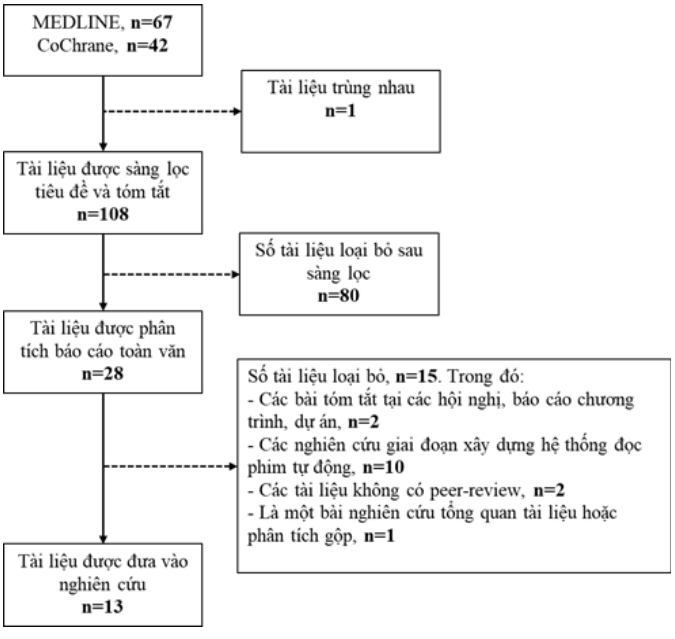
Nguồn dữ liệu: Nghiên cứu chúng tôi sử dụng 2 nguồn cơ sở dữ liệu để tìm kiếm đó là MEDLINE và Cochrane.

Các từ khoá trong nghiên cứu: Pulmunary tuberculosis và Chest X-ray và Computer-aided diagnosis và Sensitivity, Specificity cùng các từ đồng nghĩa khác liên quan. Khung thời gian áp dụng cho tìm kiếm là từ 01/2010 – 12/2021. Việc tìm kiếm và sàng lọc tài liệu sẽ áp dụng theo hướng dẫn PRISMA.

Tài liệu sau khi trích xuất từ cơ sở dữ liệu sẽ được quản lý và trích dẫn bằng phần mềm Endnote phiên bản 8. Các chỉ số, tham số của tài liệu sẽ lập thành 1 bảng bằng phần mềm MS Excel cho việc phân tích số liệu. Chất lượng của các tài liệu trong nghiên cứu sẽ được đánh giá bằng bộ công cụ QUADAS 2.

3. KẾT QUẢ

Hình 1. Sơ đồ PRISMA kết quả tìm kiếm tài liệu



Dựa vào từ khoá tìm kiếm có 67 tài liệu được tìm thấy trên cơ sở dữ liệu MEDLINE, 42 tài liệu được tìm thấy trên Cochrane, 01 tài liệu trùng lặp giữa 2 nguồn. 108 tài liệu được sàng lọc dựa trên phần tiêu đề và tóm tắt, bước này đã loại ra 80 tài liệu không phù hợp. 28 tài liệu được đưa vào phân tích toàn văn, dựa theo tiêu chuẩn lựa chọn và loại trừ thu được 13 tài liệu để đưa vào phân tích.

Bảng 1. Mô tả chung các tài liệu trong nghiên cứu

Tác giả chính, năm xuất bản	Cỡ mẫu	Thiết kế nghiên cứu	Hệ thống đọc phim Xquang tự động
Qin ZZ, 2021 [7]	23.954	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB, qXR, INSIGHT CXR, JF CXR-1, InferRead DR
Codlin AJ, 2021 [8]	1.032	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB, qXR, Genki, JF CXR-1, ChestEye, INSIGHT CXR, InferRead DR, T-Xnet, Dr CADx, SemanticMD, XrayME, COTO
Nash M, 2020 [9]	929	Nghiên cứu bệnh chứng	qXR
Habib SS, 2020 [10]	694	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB
Murphy K, 2020 11]	5.565	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB
Khan FA, 2020 [12]	2.198	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB, qXR
Qin ZZ, 2019 [13]	1.196	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB, qXR, INSIGHT CXR
Zaidi SMA, 2018 [14]	6.090	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB
Melendez J, 2018 [15]	38.961	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB
Rahman MT, 2017 [16]	18.036	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB
Philipsen RH, 2015 [17]	388	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB
Muyoyeta M, 2014 [18]	350	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB
Breuninger M, 2014 [19]	861	Nghiên cứu cắt ngang	CAD4TB

Các cuộc sàng lọc sử dụng các hệ thống đọc phim Xquang tự động từ năm 2014 – 2021 trong nghiên cứu có cỡ mẫu từ 350 – 38.961 người tham gia (bảng 1). Trong đó chỉ có 01 tài liệu của Nash M, 2020[9] có thiết kế nghiên cứu bệnh chứng còn lại các tài liệu khác sử dụng thiết kế nghiên cứu cắt ngang trong một giai đoạn nhất định. Có 12 hệ thống được sử dụng để sàng lọc bệnh lao phổi trong các tài liệu của nghiên cứu bao gồm: CAD4TB, qXR, Genki, JF CXR-1, ChestEye, Lunit INSIGHT CXR, InferRead DR, T-Xnet, Dr CADx, SemanticMD, XrayME, COTO. Nghiên cứu của Codlin AJ, 2021[8] despite the rapidly expanding array of available CAD solutions. We developed a test library of chest X-ray (CXR và cộng sự là nghiên cứu đầu tiên đánh giá cả 12 hệ thống này. Hệ thống CAD4TB, qXR và INSIGHT CXR là những hệ thống được sử dụng phổ biến hơn cả và hệ thống CAD4TB là hệ thống được sử dụng sớm nhất trong 12 hệ thống hiện nay.

Bảng 2. Xét nghiệm vi khuẩn học tham chiếu để đánh giá giá trị chẩn đoán của các hệ thống đọc phim Xquang tự động

Tên hệ thống	Xét nghiệm vi khuẩn học tham chiếu
CAD4TB	Xpert MTB/RIF [7][8][10][11][13-18]
	Nuôi cấy vi khuẩn [12][19]
qXR	Xpert MTB/RIF [7][8][13]
	Nuôi cấy vi khuẩn/Xpert MTB/RIF/Nhuộm soi [9]
	Nuôi cấy vi khuẩn [12]
Lunit INSIGHT CXR	Xpert MTB/RIF [7][8][13]
InferRead DR	Xpert MTB/RIF [7][8]
JF CXR-1	Xpert MTB/RIF [7][8]
ChestEye	Xpert MTB/RIF [8]

Tên hệ thống	Xét nghiệm vi khuẩn học tham chiếu
COTO	Xpert MTB/RIF [8]
Dr CADx	Xpert MTB/RIF [8]
Genki	Xpert MTB/RIF [8]
SemanticMD	Xpert MTB/RIF [8]
T-Xnet	Xpert MTB/RIF [8]
XrayME	Xpert MTB/RIF [8]

Phần lớn ở các hệ thống đọc phim Xquang tự động được đưa vào sử dụng với xét nghiệm vi khuẩn học tham chiếu là xét nghiệm Xpert MTB/RIF. Ngoài ra, các hệ thống phổ biến như CAD4TB và qXR có đối chiếu cả với kết quả nuôi cấy vi khuẩn học. Nghiên cứu của Nash M, 2020 [9] và cộng sự sử dụng một trong các kết quả dương tính của Xpert MTB/RIF hoặc nuôi cấy vi khuẩn hoặc nhuộm soi trực tiếp mẫu đờm làm giá trị tham chiếu. Việc đều sử dụng đồng nhất Xpert MTB/RIF ở các hệ thống khác nhau giúp cho việc so sánh hiệu quả sàng lọc của các hệ thống này được thống nhất với nhau và cũng tuân theo hướng dẫn của TCYTTG.

Bảng 3. Giá trị chẩn đoán của các hệ thống đọc phim Xquang tự động trong sàng lọc bệnh lao phổi

Tên hệ thống		Độ nhạy	Độ đặc hiệu	AUC
CAD4TB	2021	0,90 (0,89–0,91)	0,73 (0,72–0,74)	0,90 (0,90–0,91)
	2021	-	-	0,82 (0,78–0,85)
	2020	0,91	0,42	0,78
	2020	0,90	0,76	0,885 (0,87- 0,89)
	2020	0,93 (0,90–0,96)	0,69 (0,67–0,71)	-
	2019	0,95 (0,9–0,98)	0,76 (0,73–0,78)	0,92 (0,90–0,95)
	2018	-	-	0,79 (0,78–0,81)
	2018	0,95	0,56	-
	2017	-	-	0,74 (0,73–0,75)
	2015	0,70	0,99	-
	2014	-	-	0,71 (0,66–0,77)
	2014	-	-	0,84 (0,80–0,88)
qXR	2021	0,90 (0,89–0,91)	0,74 (0,73–0,75)	0,91 (0,90–0,91)
	2021	-	-	0,82 (0,79–0,86)
	2020	-	-	0,81 (0,78, 0,84)
	2020	0,93 (0,89–0,95)	0,75 (0,73–0,77)	-
	2019	0,95 (0,9–0,98)	0,82 (0,79–0,84)	0,94 (0,92–0,97)
INSIGHT CXR	2021	0,90 (0,89–0,91)	0,67 (0,67–0,68)	0,89 (0,88–0,89)
	2021	-	-	0,82 (0,79–0,86)
	2019	0,95 (0,9–0,98)	0,80 (0,77–0,82)	0,94 (0,93–0,96)
InferRead DR	2021	0,90 (0,89–0,91)	0,62 (0,61–0,63)	0,85 (0,84–0,86)

Tên hệ thống		Độ nhạy	Độ đặc hiệu	AUC
	2021	-	-	0,76 (0,72–0,80)
JF CXR-1	2021	0,90 (0,89–0,91)	0,61 (0,60–0,62)	0,85 (0,84–0,86)
	2021	-	-	0,77 (0,73–0,81)
ChestEye	2021	-	-	0,73 (0,69–0,77)
COTO	2021	-	-	0,66 (0,61–0,71)
Dr CADx	2021	-	-	0,50 (0,45–0,55)
Genki	2021	-	-	0,78 (0,75–0,82)
SemanticMD	2021	-	-	0,53 (0,48–0,58)
T-Xnet	2021	-	-	0,70 (0,66–0,74)
XrayME	2021	-	-	0,66 (0,61–0,71)

Kết quả bảng 3 cho thấy độ nhạy của hệ thống CAD4TB dao động từ 0,70 – 0,95, tương ứng với độ đặc hiệu từ 0,42 – 0,99. Độ nhạy của hệ thống qXR dao động từ 0,90 – 0,95, tương ứng với độ đặc hiệu từ 0,74 – 0,82. Độ nhạy của hệ thống INSIGHT CXR từ 0,9 – 0,95, tương ứng với độ đặc hiệu từ 0,67 – 0,80. Hệ thống InferRead DR có độ nhạy là 0,90 (0,89–0,91) tương ứng với độ đặc hiệu 0,62 (0,61–0,63). Hệ thống JF CXR-1 có độ nhạy là 0,90 (0,89–0,91) tương ứng với độ đặc hiệu ở mức 0,61 (0,60–0,62). Các hệ thống ChestEye, COTO, Dr CADx, Genki, SemanticMD, T-Xnet, XrayME trong nghiên cứu của Codlin AJ và cộng sự không đưa ra chỉ số về độ nhạy và độ đặc hiệu, giá trị AUC đo lường của các hệ thống này từ 0,50 (0,45–0,55) – 0,78 (0,75–0,82). Tất cả các hệ thống đều được đo lường chỉ số AUC, trong đó hệ thống có điểm cao nhất là qXR (0,94, 95%CI: 0,92–0,97), tiếp theo đó là hệ thống INSIGHT CXR và CAD4TB. Hệ thống có giá trị AUC thấp nhất là Dr CADx (0,50, 95%CI: 0,45–0,55). So sánh các hệ thống ở độ nhạy 0,95 thì hệ thống qXR có độ đặc hiệu cao nhất (0,82 (0,79–0,84)), tiếp theo là INSIGHT CXR (0,80, 95%CI: 0,77–0,82) và cuối cùng là CAD4TB (0,76, 95%CI: 0,73–0,78). Kết quả trên cũng cho thấy có 3 hệ thống đạt tiêu chuẩn về độ nhạy và độ đặc hiệu theo khuyến cáo của TCYTTG về một công cụ sàng lọc lao phổi đó là CAD4TB (4 nghiên cứu), qXR (3 nghiên cứu), Lunit INSIGHT (1 nghiên cứu). Độ nhạy của CAD4TB trong khoảng từ 90%-95% ứng với độ đặc hiệu tương ứng từ 72,9%-80%. Độ nhạy của qXR trong khoảng từ 90,2%-95% tương ứng với độ đặc hiệu trong khoảng từ 74,3% - 82%. Độ nhạy của Lunit INSIGHT là 95% tương ứng với độ đặc hiệu là 76%.

4. BÀN LUẬN

Sàng lọc bệnh lao trong các chiến dịch lớn tại các nước phát triển từ những năm 1930 đã sử dụng hình ảnh Xquang ngực là một công cụ hữu hiệu. Hiệu quả của các chiến dịch sàng lọc bằng hình ảnh Xquang ngực này là bóc tách được người mắc lao khỏi cộng đồng, ngay cả khi triệu chứng của bệnh chưa khởi phát. Các cuộc điều tra dịch tễ bệnh lao toàn quốc trên toàn thế giới đã cung cấp bằng chứng về giá trị của sàng lọc bằng hình ảnh X quang ngực so với sàng lọc bằng triệu chứng. Việc áp dụng các hệ thống đọc phim X quang ngực tự động đã đem lại hiệu quả sàng lọc bệnh lao ở nhiều quốc gia trên thế giới. Có 3 giá trị phổ biến trong đánh giá các hệ thống đọc phim tự động đó là độ nhạy, độ đặc hiệu và giá trị AUC. Để thống nhất về độ nhạy và độ đặc hiệu của các công cụ sàng lọc bệnh lao mới TCYTTG đã đưa ra mức khuyến nghị về độ nhạy và độ đặc hiệu mục tiêu cho các nhà phát triển sản phẩm theo thứ tự lần lượt là 90% và 70%. Kết quả các đánh giá cho thấy có 3 hệ thống trên thị trường hiện nay đáp ứng được tiêu chí của TCYTTG bao gồm: INSIGHT CXR, CAD4TB và qXR[13][7][12][11]. Trong các nghiên cứu đánh giá đồng thời nhiều hệ thống, qXR là hệ thống có giá trị chẩn đoán cao nhất[7][8][13]. Trong bối cảnh Việt Nam đang trong tiến trình tiến tới chấm dứt bệnh lao vào năm 2030 thì việc ứng dụng công nghệ này có thể triển khai ở tất cả các tuyến y tế (nhà nước, tư nhân) và trên mọi hệ thống X quang (cố định, di động).

5. KẾT LUẬN

Sàng lọc bệnh lao phổi sử dụng hệ thống đọc phim Xquang ngực tự động đang được áp dụng ở nhiều quốc gia trên thế giới. Trên thị trường hiện nay đã có 12 hệ thống được đánh giá trong đó có 3 hệ thống: INSIGHT CXR, CAD4TB và qXR đạt được mức độ khuyến cáo về độ nhạy, độ đặc hiệu cho một công cụ sàng lọc của TCYTTG. Các hệ thống đạt tiêu chuẩn theo khuyến cáo của TCYTTG có thể áp dụng được ở tất cả các tuyến trong hệ thống y tế cũng như trên các hệ thống máy X quang khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] "Global tuberculosis report 2020." https://www.who.int/publications/i/item/9789240013131 (accessed Apr. 16, 2021).

[2] Nguyen HV, "The second national tuberculosis prevalence survey in Vietnam," PLoS One, vol. 15, no. 4, p. e0232142, 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0232142.

[3] Li B, "Prevalence of pulmonary tuberculosis in Tibet Autonomous Region, China, 2014," Int J Tuberc Lung Dis, vol. 23, no. 6, pp. 735–740, Jun. 2019, doi: 10.5588/ijtld.18.0614.

[4] Law I, Floyd K, and African TB Prevalence Survey Group, "National tuberculosis prevalence surveys in Africa, 2008-2016: an overview of results and lessons learned," Trop Med Int Health, vol. 25, no. 11, pp. 1308–1327, Nov. 2020, doi: 10.1111/tmi.13485.

[5] Migambi P, "Prevalence of tuberculosis in Rwanda: Results of the first nationwide survey in 2012 yielded important lessons for TB control," PLoS One, vol. 15, no. 4, p. e0231372, 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0231372.

[6] "World Health Organization: What is DOTS?: a guide... - Google Scholar." https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=What+is+DOTS?+A+Guide+to+Understanding+the+WHO%E2%80%94Recommended+TB+-Control.+Strategy+Known+as+DOTS&publication_year=1999& (accessed Mar. 21, 2022).

[7] Qin ZZ, "Tuberculosis detection from chest x-rays for triaging in a high tuberculosis-burden setting: an evaluation of five artificial intelligence algorithms," The Lancet. Digital health, vol. 3, no. 9, pp. e543–e554, Sep. 2021, doi: 10.1016/s2589-7500(21)00116-3.

[8] Codlin AJ, "Independent evaluation of 12 artificial intelligence solutions for the detection of tuberculosis," Scientific reports, vol. 11, no. 1, p. 23895, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-03265-0.

[9] Nash M, "Deep learning, computer-aided radiography reading for tuberculosis: a diagnostic accuracy study from a tertiary hospital in India," Scientific reports, vol. 10, no. 1, p. 210, Jan. 2020, doi: 10.1038/s41598-019-56589-3.

[10] Habib SS, "Evaluation of computer aided detection of tuberculosis on chest radiography among people with diabetes in Karachi Pakistan," Scientific reports, vol. 10, no. 1, p. 6276, Apr. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-63084-7.

[11] Murphy K, "Computer aided detection of tuberculosis on chest radiographs: An evaluation of the CAD4TB v6 system," Scientific reports, vol. 10, no. 1, p. 5492, Mar. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-62148-y.

[12] Khan FA, "Chest x-ray analysis with deep learning-based software as a triage test for pulmonary tuberculosis: a prospective study of diagnostic accuracy for culture-confirmed disease," The Lancet. Digital health, vol. 2, no. 11, pp. e573–e581, Nov. 2020, doi: 10.1016/s2589-7500(20)30221-1.

[13] Qin ZZ, "Using artificial intelligence to read chest radiographs for tuberculosis detection: A multi-site evaluation of the diagnostic accuracy of three deep learning systems," Scientific reports, vol. 9, no. 1, p. 15000, Oct. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-51503-3.

[14] Zaidi SMA, "Evaluation of the diagnostic accuracy of Computer-Aided Detection of tuberculosis on Chest radiography among private sector patients in Pakistan," Scientific reports, vol. 8, no. 1, p. 12339, Aug. 2018, doi: 10.1038/s41598-018-30810-1.

[15] Melendez J, "Accuracy of an automated system for tuberculosis detection on chest radiographs in high-risk screening," Int J Tuberc Lung Dis, vol.

22, no. 5, pp. 567–571, May 2018, doi: 10.5588/ijtld.17.0492.

[16] Rahman MT, "An evaluation of automated chest radiography reading software for tuberculosis screening among public- and private-sector patients," The European respiratory journal, vol. 49, no. 5, May 2017, doi: 10.1183/13993003.02159-2016.

[17] Philipsen RH, "Automated chest-radiography as a triage for Xpert testing in resource-constrained settings: a prospective study of diagnostic accuracy and costs," Scientific reports, vol. 5, p. 12215, Jul. 2015, doi: 10.1038/srep12215.

[18] Muyoyeta M, "The sensitivity and specificity of using a computer aided diagnosis program for automatically scoring chest X-rays of presumptive TB patients compared with Xpert MTB/RIF in Lusaka Zambia," PLoS One, vol. 9, no. 4, p. e93757, 2014, doi: 10.1371/journal.pone.0093757.

[19] Breuninger M, "Diagnostic accuracy of computer-aided detection of pulmonary tuberculosis in chest radiographs: a validation study from sub-Saharan Africa," PLoS One, vol. 9, no. 9, p. e106381, 2014, doi: 10.1371/journal.pone.0106381.